

ハンマー投げのバイオメカニクス的研究

—— 投射時におけるハンマー頭部の初速度
・投射角・投射高が飛距離に及ぼす影響 ——

室 伏 重 信 (中京大学体育学部)

斉 藤 昌 久 (中京大学体育学部)

湯 浅 景 元 (中京大学体育学部)

Biomechanical Analysis of Hammer Throw The speed, height and angle of release and phasic analysis

Abstract

The speed, height and angle at which the hammer was released were measured and phasic analysis was performed in this study. Two hammer throwers were selected as subjects. One of them (Subject Mur) had the Japan national record, 71.72 m, in 1981. In this experiment, the records were 70.84 and 52.82 m for subjects Mur and Hos, respectively. Higher values for speed and angle of release were observed in subject Mur. The height of hammer head at release, however, was lower in subject Mur. Duration of delivery phase was longer in this subject. Angular velocity of hammer head was higher in the one foot supporting phase than in two feet supporting phase in higher subject. On the contrary, angular velocity of left wrist was higher in two feet supporting phase in this subject. In subject Hos, however, no significant differences of both angular velocities of hammer head and left wrist were obtained in between one foot and two feet supporting phases.

緒 言

ハンマー投げ競技は投てき物の飛距離により競われる。この飛距離を決定づけるものは、リリース時におけるハンマー頭部の初速度、投射角、投射高、および飛行中の空気抵抗である^{1), 2)}。ただしハンマー投げでの空気抵抗は極めて小さいことから、バイオメカニクス的手法でこの運動を解析するときには空気抵抗を無視できる³⁾。したがって、ハンマー投げの飛距離は初速度、投射角、投射高によって影響されと考えることができる。

本研究では投能力の異なる2名のハンマー投げ選手のハンマー頭部の初速度、投射角、投射高を分析し比較することにした。

方 法

本研究に参加した被験者は6名であったが、分析は2名について行った。1名は現在日本記録を保持している選手であり、他の被験者は中京大学陸上競技部に所属する選手であった。被験者の年令、身長、体重、1981年度の最高記録および左上肢長と手とハンマーの長さを表1に示した。

表1 被験者の年齢, 身長, 体重, 1981年度の最高記録, 左上肢長, および左手首とハンマー頭部との距離

	Age	Height	Weight	Best Record in 1981	The Length of Left Upper Extremity	The Distance between Left Wrist and Hammer Head
Subj.	(yrs)	(cm)	(Kg)	(m)	(m)	(m)
Mur	36	180.2	93.3	71.72	0.589	1.294
Hos	21	177.0	89.6	58.34	0.585	1.299

実験は3日に分けて行った。被験者は、いずれの実験においても全力で2回の投てきを行った。ターンは、2名とも1回転目をつま先で回る4回転投法であった。投てき動作の撮影は、投てき方向に向って右側方より16mmシネ・カメラ(1PL, Photo-Sonics)で行った。撮影コマ数は毎秒100コマであった。フィルム・スピードの補正には、フィルム・スピードと同じ周期で光を放つパルスジェネレーターを用いた。実験場面の模式図を図1に示した。

フィルム分析には、Motion Analyzer — Graph-pen—Calculator System (Sportias, model GP2000, NAC.)を用いた。動作分析は、3回の実験で最高記録が得られた投てき動作について行った。

リリース時の初速度(V_0)は次式から求めた。

$$V_0 = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

ここで、 v_x と v_y はリリース瞬間から3.6msec後までのそれぞれ水平と垂直速度である。さら

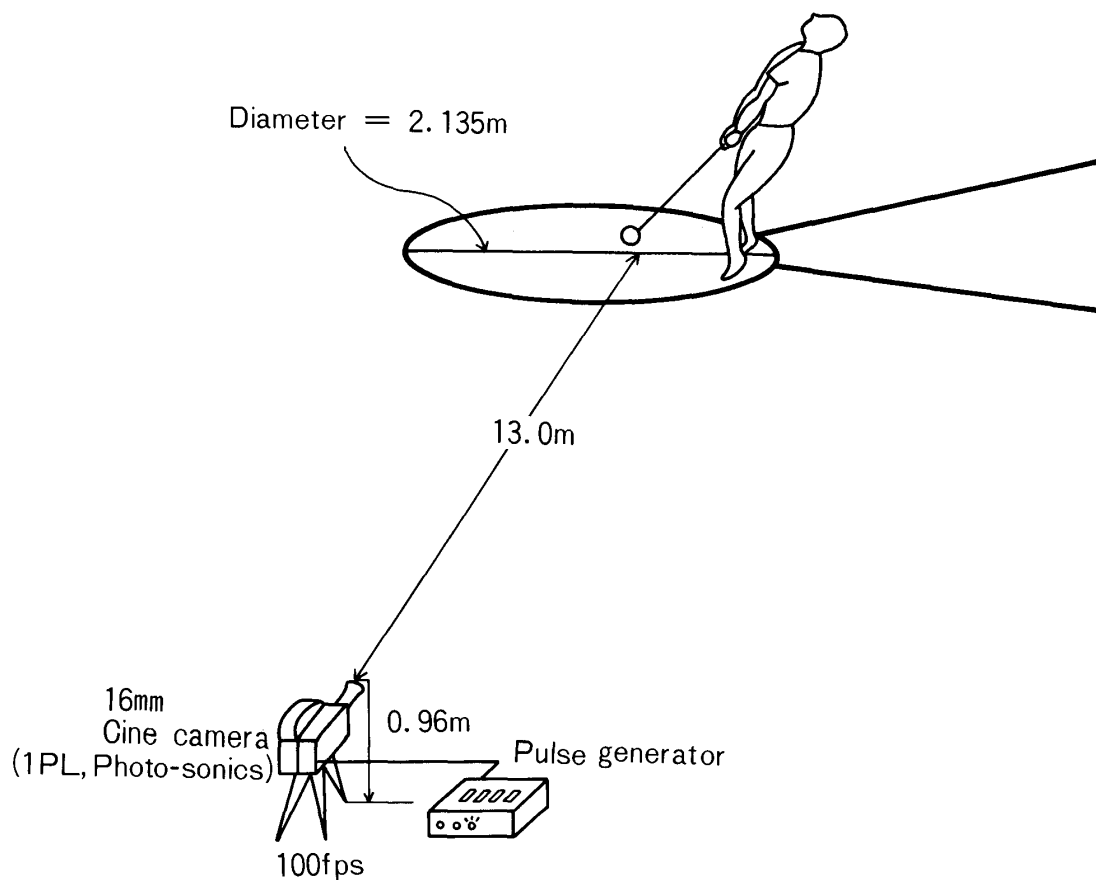


図1 実験場面の模式図

に、この v_x と v_y を用いることによって投射角 (θ_r) を次式から算出した。

$$\theta_r = \arctan \left(\frac{v_y}{v_x} \right)$$

投射高はリリース瞬間時のハンマー頭部中心から地面までの垂直距離で求めた。

また、ハンマー頭部の速度を考えるとときには、ハンマーが回転運動を行っていることから、上方からみたときの角速度を求める必要がある。本研究では一側方だけから撮影したデータから次の手順によって上方からみたときのハンマー頭部および左手首の角速度を算出した。この場合、左手首の角速度は左肩関節を中心に、そしてハンマー頭部の角速度は左手首を中心に求めた。側方から撮影された被写体の投影図を上方からの投影図に置き換えた。この置き換え方法の模式図を図2に示した。図中の原点 $O(0,0,0)$ は左肩関節あるいは左手首、点 $A(x,y,z)$ は左手首あるいはハンマー頭部の中心をそれぞれ示している。上方からの投影図は、図中の点 A' の座標 $(x,0,z)$ を求めることによって得られる。点

A'' の座標は次式で算出できる。

$$\overline{OA} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

ゆえに、 z 座標は

$$z = \sqrt{\overline{OA}^2 - (x^2 + y^2)}$$

である。

ハンマー投げ運動のターンを次のA～Dの4局面に区分し局面分析を行った。A局面は1回転目終了（右足接地瞬間）から2回転目終了まで、B局面は2回転目終了から3回転目終了まで、C局面は3回転目終了から4回転目終了まで、およびD局面は4回転目終了からリリース瞬間までであった。さらに、これらの4局面をそれぞれ両足接地期と片足接地期の2つの期間に区分し、これらの期間の所要時間を測定した。

また、リリース時の初速度、投射角^{(4),(6)}、および投射高の値から、次式の投射体の運動式を用いてハンマーの飛距離の理論値についても算出した。

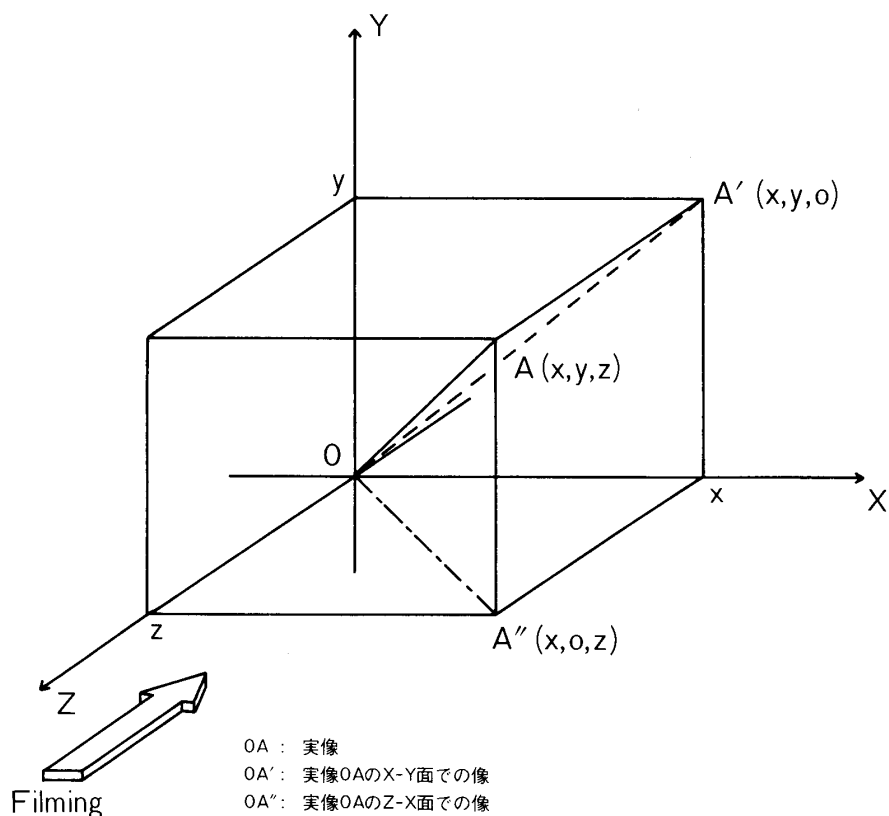


図2 置き換え方法の模式図

$$D = V_0 \cdot \sin \theta \{ V_0 \cdot \cos \theta / g + \sqrt{2(H_0 + V_0^2 \cdot \cos^2 \theta / g) / g} \}$$

ここで、Dはハンマーの飛距離、 V_0 はリリース時の初速度、 θ は投射角、 H_0 は投射高、およびgは重力加速度（＝9.807m/sec²）である。

結果と論義

本研究におけるハンマーの飛距離、投射角、投射高、およびリリース時の初速度は表2に示した。実験時における被験者MurとHosのハンマーの飛距離は、それぞれ70.84mと52.82mであった。このときの記録は、それぞれ最高記録の約99%と91%に相当した。このことから本研究の分析例は、ほぼ各被験者の最高高度に近いときのものであったと考えられる。投射高は飛距離の大きい被験者Murの方が0.11m低かった。一方、

投射角とリリース時の初速度は被験者Murの方がそれぞれ2.9度と3.88m/secだけ高い値を示した。Miller, D. I.⁵⁾はリリース時の初速度、投射角、投射高を入力変数としたシュミレーション・モデルから砲丸の飛距離を理論的に算出した。この結果、砲丸の飛距離を決定するもっとも重要な因子はリリース時の初速度であることを明らかにした。本研究においても、Miller, D. I.と同じ方法でハンマーの理論的飛距離を算出した(表3)。計算のために基準となる初速度、投射角、投射高は本実験で得られた結果を用いた。初速度、投射角、投射高のいずれかをある一定の比率だけ変化させたときのハンマーの飛距離の増減の程度は、初速度を変化させたときとくに著しいことがわかった。もっとも影響力の小さい因子は投射高であった。以上の

表2 本実験時のハンマーの飛距離、投射高、投射角、リリース時の初速度

Subj.	Experimental Record (m)	Height of Release (m)	Angle of Release (deg)	Initial Velocity (Resultant) (m/sec)
Mur	70.84	1.73	38.3	28.19
Hos	52.82	1.84	35.4	24.31

表3 リリース時の初速度、投射角、投射高が投てき距離に及ぼす影響

*** The Effect of Horizontal Distance on Velocity, Release Angle, and Release Height ***

Velocity = 28.2 (m/s) Release Angle = 38.0 (deg)
Release Height = 1.7 (m)

No. : Percent	Velocity	Release Angle	Release Height
1 : -20.0%	52.45 m	73.58 m	80.39 m
2 : -15.0%	58.95 m	75.85 m	80.49 m
3 : -10.0%	65.84 m	77.82 m	80.60 m
4 : -5.0%	73.12 m	79.48 m	80.70 m
5 : 0.0%	80.80 m	80.80 m	80.80 m
6 : 5.0%	88.87 m	81.79 m	80.91 m
7 : 10.0%	97.34 m	82.44 m	81.01 m
8 : 15.0%	106.19 m	82.75 m	81.11 m
9 : 20.0%	115.44 m	82.70 m	81.21 m
10 : 25.0%	125.08 m	82.31 m	81.32 m

Velocity = 24.3 (m/s) Release Angle = 35.0 (deg)
Release Height = 1.8 (m)

No. : Percent	Velocity	Release Angle	Release Height
1 : -20.0%	38.62 m	53.10 m	58.57 m
2 : -15.0%	43.31 m	54.86 m	58.69 m
3 : -10.0%	48.27 m	56.44 m	58.81 m
4 : -5.0%	53.52 m	57.84 m	58.93 m
5 : 0.0%	59.05 m	59.05 m	59.05 m
6 : 5.0%	64.86 m	60.05 m	59.16 m
7 : 10.0%	70.95 m	60.85 m	59.28 m
8 : 15.0%	77.32 m	61.44 m	59.40 m
9 : 20.0%	83.97 m	61.82 m	59.52 m
10 : 25.0%	90.91 m	61.98 m	59.63 m

ことから、被験者MurとHosの飛距離の差はとくにリリース時の初速度によって生じたと考えられる。

ハンマー頭部の速度は投てき者の身体移動 (translation) と回転 (rotation) によって生み出される。一回転終了時からリリース瞬間までの両足接地時間と片足接地時間をみると、AからCまでの局面では両足および片足接地時間は技能力の高い被験者Murの方が短いことが明らかとなった(表4)。またこのときの移動距離は

両者ともほぼ同じであった。以上のことから、リリースに入るまでの身体の回転速度は被験者Murの方が大きく、このためにハンマー頭部の速度は高かったと考えられる。また、D局面における両足接地時間は被験者Murの方が長かった。この局面は両足接地で上体を回転させてハンマーを投げ出す運動が行われる。したがって、この局面が被験者Murで長くなったことは、上体の回転によって生じる力積を大きくすることになり、これが飛距離を高くした1つの原因と

表4 ハンマー回転中の両足支持期と片足支持期の所要時間

Phase	One Foot Supporting Phase		Two Feet Supporting Phase	
	Subj. : Mur	Subj. : Hos	Subj. : Mur	Subj. : Hos
A	0.372	0.480	0.312	0.372
B	0.264	0.288	0.288	0.384
C	0.192	0.216	0.264	0.360
D	0.264	0.240		

(Unit: Second)

考えることができる。

表5には、A～D局面の両足および片足接地期の肩関節を中心とした手首とハンマー頭部の角速度を示した。飛距離の高い被験者Murは、手首の角速度は両足接地期で高く、逆にハンマー頭部の角速度は片足接地期で高くなった。一方、飛距離の劣る被験者Hosの手首とハンマー

頭部の角速度は、両足接地期と片足接地期で大きな差はみられなかった。以上のことは、飛距離の高い被験者Murは両足接地期では上肢の角速度を大きくし、片足接地期にはハンマー頭部の角速度を大きくする運動を行っていたことを示している。このことが飛距離に影響を及ぼした別の原因と考えられる。

表5 両足支持期および片足支持期での左手首とハンマー頭部の平均角速度

		A		B		C		D
Subj.		TS	OS	TS	OS	TS	OS	TS
Left Wrist	Mur	10.37	9.04	13.11	10.81	16.90	11.76	18.01
	Hos	7.55	6.90	11.32	10.93	11.04	11.36	12.17
Hammer Head	Mur	8.23	11.16	10.51	13.32	12.46	14.67	14.06
	Hos	6.37	9.58	9.12	10.59	13.19	11.05	12.75

TS One Foot Supporting Phase
OS Two Feet Supporting Phase

(Unit: Rag/Sec)

ま と め

能力の異なるハンマー投げ選手2名を対象に、リリース瞬間時のハンマー頭部の初速度、投射角、投射高の測定および局面分析を行った。本研究結果をまとめると次のようになる。

- 1) 被験者MurとHosの実験時のハンマー投げの記録は、それぞれ70.84mと52.82mであった。
- 2) リリース瞬間時のハンマー頭部の初速度と投射角は、能力の高い被験者Murの方が大きかった。一方、投射高は被験者Murの方が低かった。
- 3) リリース瞬間時のハンマー頭部の初速度は、ハンマー投げの飛距離に影響を及ぼすもっとも大切な因子と考えられる。
- 4) D局面時間は被験者Murの方が長く、他の局面は反対に短かった。
- 5) 被験者Murでは左手首を中心としたハンマーの角速度は片足接地期の方が大きく、左肩関節を中心とした左手首の角速度は両足接地期で大きくなった。能力の劣る被験者Hosではいずれの角速度も両足と片足接地期で大きな差はなかった。

謝 辞

実験の遂行には、中京大学体育方法学研究室および陸上競技部投てきブロックの学生諸氏の援助に負うところが多い。付記して感謝を表す。

引 用 文 献

- 1) Dyson, G.H.G.: The mechanics of athletics, 6th ed., University of London Press Ltd : London, 1973, p.188.
- 2) Hay, J.G.: The biomechanics of sports techniques, 2nd ed., Prentice-Hall, Inc.: Englewood Cliffs, N.J., 1978, p.491.
- 3) 前掲書, p.494
- 4) Miller, D.L.: "Computer simulation of human motion," in Whitng, H.T.A.(Ed.), The human movement series, Techniques for the analysis of human movement, Lepus Books : London 1975, pp.92—95.
- 5) 前掲書, pp.92—99.
- 6) 渋谷侃二: 運動力学, 現代保健体育学大系第6巻, 大修館書店, 1973, pp.74—87.